

УДК 691.328.43

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАТИВНОСТИ  
СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ  
ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ****САДИН ЭБРАИМ ЯГУБ; канд. техн. наук, доц. А.А. ХОТЬКО  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)**

*Проанализированы преимущества и недостатки композитной арматуры при армировании железобетонных конструкций. Отражены результаты собственных экспериментальных исследований деформативности сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры, производителей Республики Беларусь. Выполнен анализ влияния диаметра и длины контакта с бетоном стеклопластиковых арматурных стержней различных производителей на деформативность сцепления с бетоном. В результате эксперимента выявлено, что арматура производства ООО «Бизнес-Континент» и ООО «Стройкомпозит» обладает большей деформативностью сцепления с бетоном, чем арматура производства ЧП «Минпласт». Деформативность арматуры снижалась также при увеличении заделки арматуры в бетоне. Определены моменты начала сдвига арматурных стержней относительно бетона двумя разными методами. Представлены предложения по расчетной оценке анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры.*

**Ключевые слова:** стеклопластиковая арматура, композитобетонные конструкции, сцепление, анкеровка, деформации.

Существующие на сегодняшний день потребности в экономии материальных ресурсов ставят задачу поиска и применения в строительстве новых конструктивных решений. Одним из таких решений, позволяющих экономить стальную арматуру, является использование в качестве армирования композитной арматуры в предварительно напряжённых изгибаемых несущих композитобетонных конструкциях. Композитная арматура является диэлектриком, немагнитна, имеет низкую теплопроводность, обладает радиопрозрачностью, поэтому применять её целесообразно, прежде всего, в тех областях и конструкциях, в которых композитная арматура имеет экономическое и конструктивное преимущество перед стальной арматурой. Композитная арматура производится в виде стержней со спиральной рельефностью, реже с песчаной посыпкой, практически любой длины на основе стеклянных (АСК – стеклопластиковая арматура), базальтовых (АБК – базальтопластиковая арматура) волокон или на основе других компонентов (карбон, арамид), пропитанных химически стойким полимером [1–4].

К недостаткам, или особенностям композитной арматуры, которые не позволяют повсеместно выполнить прямую замену металлической арматуры на композитную, относятся следующие свойства: низкий модуль упругости; более низкая огнестойкость изделий, армированных композитной арматурой; низкая прочность при поперечных нагрузках; сложность изготовления гнутых арматурных изделий; сложность при изготовлении предварительно напряжённых конструкций; отсутствие необходимых экспериментальных данных [1–5].

Производимая в Беларуси и импортируемая в республику композитная арматура имеет большой разброс в физико-механических характеристиках, исходных материалах (сырье) и геометрических характеристиках. Ввиду отсутствия нормативных документов, регламентирующих требования к композитной арматуре, имеются различия как в технологии изготовления арматуры, так и в геометрических параметрах образующегося при производстве периодического профиля. Производится арматура с песчаной посыпкой поверхности и без нее. Периодический профиль композитной арматуры производится при ее изготовлении путем спиральной обвивки сырой заготовки стержня крученой нитью из стеклянного волокна, пропитанной связующим. При обмотке нить натянута с определенным усилием, благодаря чему она вдавливаясь в тело стержня. За счет этого арматура получает дополнительное уплотнение и периодический профиль. При этом является очевидным тот факт, что, обладая различными параметрами периодического профиля, композитная арматура различных производителей будет иметь и различные характеристики сцепления с бетоном. Связь обвивки из крученой нити и тела стержня различна у разных производителей и также оказывает влияние на совместную работу бетона и арматуры. Известны случаи, когда при испытании на сцепление обвивка из крученой нити сползала с тела арматурного стержня, что становилось причиной преждевременного нарушения сцепления арматуры с бетоном [2; 3].

С целью разработки предложений по расчету анкеровки в бетоне композитной стержневой арматуры производителей Республики Беларусь выполнены исследования влияния диаметра и длины заделки арматурных стержней на деформативность сцепления с бетоном композитной арматуры различных производителей в изгибаемых элементах.

Исследования выполняли для композитной арматуры трех различных производителей Республики Беларусь: ЧП «Минпласт», Минск; ОАО «Стройкомпозит, Гомель; ООО «Научно-производственная компания «Бизнес-Континент», Брест), предусматривали сравнительные испытания балок на свободных опорах, армированных стержнями стеклопластиковой арматуры диаметром от 4 до 10 мм указанных производителей с различными длинами контакта арматуры с бетоном ( $10d$ ,  $20d$  и  $30d$ ). Поперечное сечение опытных образцов принято прямоугольным с размерами сторон  $b \times h = 150 \times 300$  мм. Длина образцов  $L = 1500$  мм.

Опытная балка в середине разделена на две части. Эффективная высота бетона (высота сжатой зоны бетона) зафиксирована путем установки стальных уголков в пределах высоты  $x_{eff} = 80$  мм с шарниром между ними (рис. 1). В нижней части в пределах зоны чистого изгиба (в пределах 600 мм) бетон отсутствует. При этом в одной части заделки ( $l_{зад}$ ) композитная арматура находилась в контакте с бетоном, а в другой части (150 мм и  $300 - l_{зад}$ ) сцепление искусственно исключалось (стержень помещался в изолирующую трубку). Поперечная и сжатая арматура отсутствует. Величина относительного пролета среза принята постоянной и равной 450 мм.

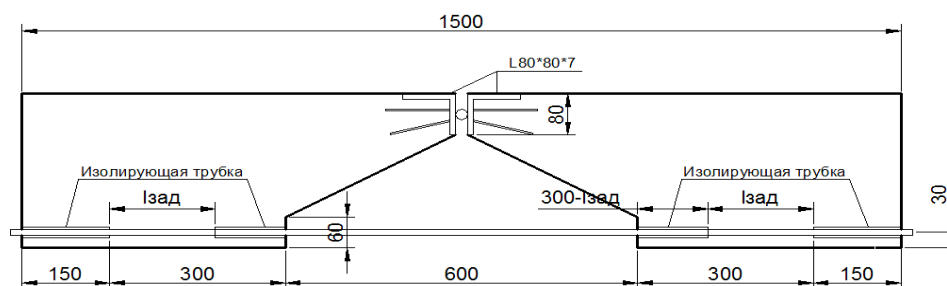


Рисунок 1. – Геометрические характеристики опытных балок

Опытные образцы-балки изготавливали в разборной деревянной опалубке с формованием в горизонтальном положении (для арматуры). Проектируемый класс бетона С30/37. Испытания проводились на гидравлическом прессе с расстоянием между двумя точками приложения нагрузки на балку 500 мм, расположенными симметрично относительно центра пролета. Расстояние от опоры до места приложения нагрузки принято 450 мм.

Для изучения влияния диаметра и длины контакта с бетоном стеклопластиковых арматурных стержней на деформативность сцепления с бетоном композитной арматуры различных производителей контролировали характер разрушения опытных образцов и максимальную нагрузку, при которой сцепление стеклопластиковой арматуры с бетоном не нарушено ( $P_{max}$ ), а также перемещения незагруженного (свободного) ( $y_1$ ) и загруженного ( $y_0$ ) концов арматурного стержня относительно наружных граней бетона на обоих концах образца (рис. 2).



Рисунок 2. – Внешний вид опытного образца в процессе испытания

Величину перемещения незагруженного конца  $s(n)$  арматурного стержня определяли как измеренные величины деформаций незагруженного конца арматуры с помощью индикаторов часового типа ИЧ-1 (ИЧ-3). Величину перемещения загруженного конца арматуры  $s(0)$  определяли как разницу между деформациями, установленными по показаниям индикаторов часового типа, закрепленных на

струбине, на загруженном конце арматуры в непосредственной близости от торца образца, и вычисленными деформациями участка арматуры от точки закрепления струбцины до начала заделки стержня в бетон, соответствующими данному этапу нагружения.

В результате эксперимента выявлено, что арматура производства ООО «Бизнес-Континент» и ООО «Стройкомпозит» обладает большей деформативностью сцепления с бетоном, чем арматура производства ЧП «Минпласт». При этом для всех образцов перемещения незагруженного конца арматуры относительно бетона с увеличением нагрузки увеличивались примерно по линейной зависимости до уровня, соответствующего  $\approx 0,7$  от предельной нагрузки, соответствующей нарушению сцепления стержней с бетоном. После достижения этой нагрузки наблюдалось увеличение приращений перемещений при увеличении нагрузки. Предельная величина перемещений незагруженного конца стержней относительно бетона в момент разрушения балок для образцов с арматурой производства ЧП «Минпласт» варьировалась в зависимости от диаметра стержней и от длины контакта с бетоном от 0,02 до 0,22 мм. Данная величина для образцов с арматурой производства ООО «Стройкомпозит» варьировалась в зависимости от диаметра стержней и от длины контакта с бетоном от 0,07 до 4,0 мм, а для образцов производства ООО «Бизнес-Континент» – от 0,01 до 2,75 мм. Причем образцам с большей величиной контакта арматуры с бетоном соответствовали меньшие значения перемещений незагруженного конца стержня относительно бетона. Для арматуры производства ООО «Бизнес-Континент» и ООО «Стройкомпозит» это уменьшение происходило более интенсивно. Влияние диаметра арматуры на деформативность ее сцепления с бетоном сказывалось незначительно, хотя установлено, что наибольшие перемещения незагруженного конца арматуры для стержней соответствовали образцам с большим диаметром арматуры.

Перемещения загруженного конца арматуры относительно бетона для всех образцов увеличивались более равномерно, чем незагруженного конца, что вероятно связано с тем, что на данную величину большее влияние оказывали собственные деформации растяжения стеклопластиковых стержней. Предельная величина перемещений загруженного конца стержней относительно бетона в момент разрушения балок для образцов с арматурой производства ЧП «Минпласт» варьировалась от 0,33 до 2,42 мм. Данная величина для образцов с арматурой производства ООО «Стройкомпозит» варьировалась от 0,84 до 5,7 мм, а для образцов производства ООО «Бизнес-Континент» – от 0,94 до 3,21 мм.

Сравнительные сводные графики зависимости предельных перемещений загруженного и незагруженного концов арматуры от длины контакта стержней с бетоном для арматуры разных производителей и разных диаметров показаны на рисунках 3 и 4.

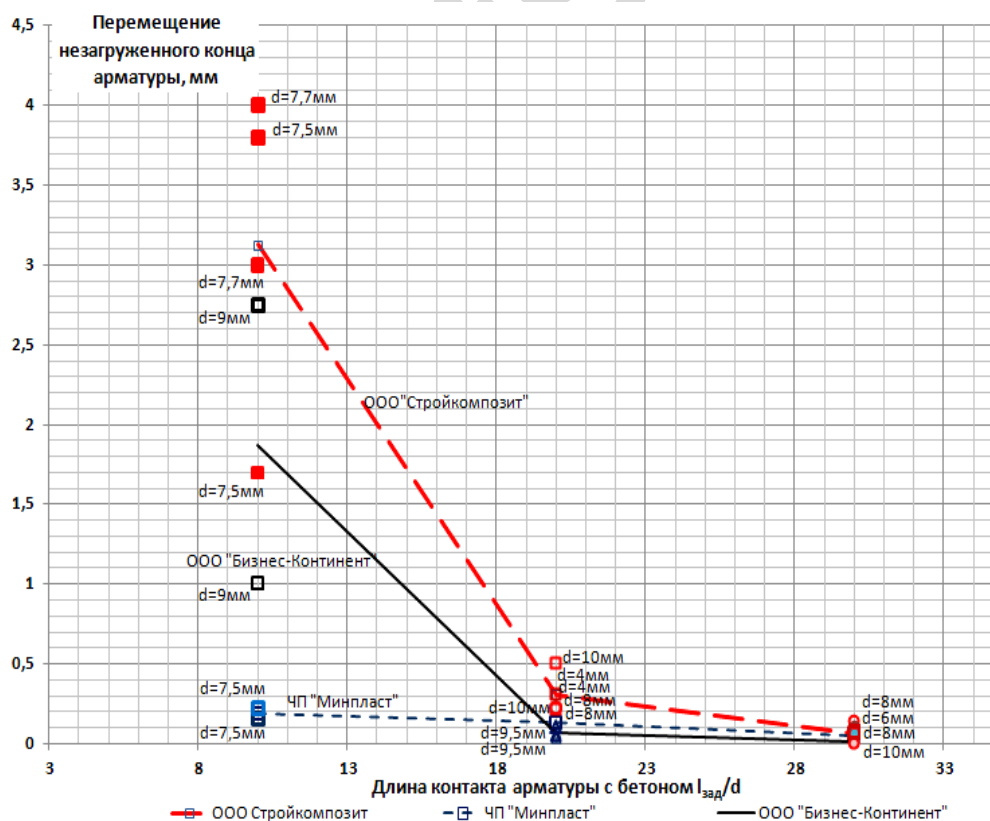


Рисунок 3. – Зависимость предельных перемещений незагруженного конца арматуры от длины контакта стержней с бетоном

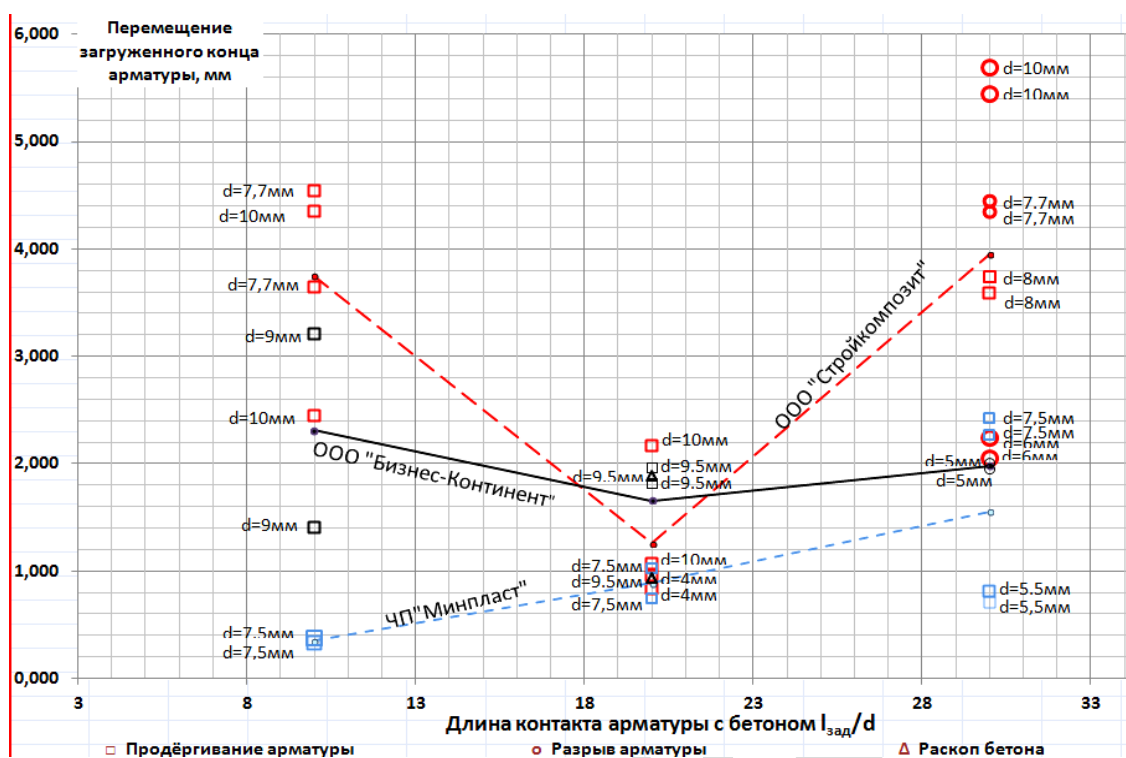


Рисунок 4. – Зависимость предельных перемещений загруженного конца арматуры от длины контакта стержней с бетоном

Длина анкеровки арматуры в бетоне должна быть такой, чтобы при длительном действии нагрузки не происходило дальнейшего смещения незагруженного конца арматуры. Поэтому важным критерием сцепления является величина напряжений в арматуре при начале сдвига всего стержня. Измеряемые в процессе испытаний перемещения незагруженного конца стержня не вполне четко характеризуют этот момент, так как включают в себя помимо собственно сдвига арматуры также и перемещения бетона, полученные в результате деформации торца образца, деформаций смятия под выступами периодического профиля. Существует несколько подходов к определению момента начала сдвига арматуры относительно бетона. Один из подходов предполагает за критерий такой нагрузки принимать усилия, соответствующие перемещению незагруженного конца арматуры на величину 0,2 мм [6; 7].

Кроме того, некоторые исследователи предлагают для определения момента начала сдвига стержня включить в рассмотрение приращения перемещений незагруженного конца арматуры за одну ступень нагрузки. По характеру изменения данной величины определяется тот этап, который соответствует резкому непропорциональному увеличению приращения перемещений. Этот этап, характеризующийся, очевидно, переходом из упругих и упругопластических деформаций по длине заделки к деформациям среза и трения, принимается за момент начала сдвига [6; 7]. В данной работе использовались обе вышеперечисленные методики.

Для определения момента начала сдвига стержня по первой методике по шкале силоизмерителя регистрировались усилия, соответствующие перемещениям незагруженного конца стержня на 0,2 мм, определенным по показаниям индикатора часового типа. Напряжения на загруженном конце арматуры, соответствующие, моменту резкого непропорционального увеличения приращений перемещений незагруженного конца стержня, определяли графически.

В результате анализа опытных данных установлено отсутствие факта сдвига арматурного стержня вплоть до момента разрушения (достижения максимальных напряжений в стержнях) во всех образцах с длиной заделки в бетон, равной  $30d$ . Сдвиг арматурного стержня не происходил до момента разрушения балок также и в образцах с длиной заделки  $20d$  с арматурой производства ЧП «Минпласт» и ООО «Бизнес-Континент». Момент начала сдвига арматурного стержня относительно бетона во всех образцах с длиной заделки  $10d$  наступал ранее момента разрушения образцов. Причем усилие, соответствующее моменту начала сдвига арматуры относительно бетона, составляло 0,66...0,7 от усилия, соответствующего наблюдаемым в опытах максимальным напряжениям в арматуре производства ООО «Стройкомпозит»  $\approx 0,76$  от усилия, соответствующего максимальным напряжениям в арматуре производства ООО «Бизнес-Континент», и  $\approx 0,85$  от усилия, соответствующего максимальным напряжениям в арматуре производства

ЧП «Минпласт». Следует отметить, что момент начала сдвига арматуры относительно бетона, установленный исходя из критерия перемещения незагруженного конца арматуры на величину 0,2 мм, оказался определяющим, так как момент, соответствующий резкому непропорциональному увеличению приращения перемещений незагруженного конца стержня наступал несколько позже для всех образцов.

Длину анкеровки стеклопластиковой арматуры в бетоне предлагается определять по методике СНБ 5.03.01-02 [8], предварительно определив требуемые значения коэффициента  $\eta_3$  для стеклопластиковой арматуры в формуле для расчета среднего значения предельного напряжения сцепления по контакту арматуры с бетоном. Для этого, используя полученные опытные значения максимальных напряжений на загруженном конце арматуры, для всех образцов можно определить требуемые значения коэффициента  $\eta_3$ :

$$\eta_3 = \frac{\sigma_{\text{max}}}{4 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{\text{ctd}} \cdot l_{\text{зад}} / d}$$

где  $\sigma_{\text{max}}$  – максимальное напряжение в арматуре;  $f_{\text{ctd}}$  – сопротивление бетона растяжению;  $\eta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние условий сцепления и положение стержней при бетонировании;  $\eta_2$  – коэффициент, учитывающий влияние диаметра арматуры: при  $d \leq 32$  мм  $\eta_2 = 1,0$ ;  $l_{\text{зад}}$  – длина заделки стержня в бетон;  $d$  – диаметр арматурного стержня.

В целях обеспечения заделки арматурных стержней в бетоне с надлежащей безопасностью предлагается принимать наибольшее значение относительной длины анкеровки из полученных по предлагаемым рекомендациям. Поэтому следует определять длину анкеровки арматурных стержней с использованием в расчетах коэффициента  $\eta_3$ , вычисляемого по напряжениям в арматуре, соответствующим перемещениям незагруженного конца арматуры на 0,2 мм (рис. 5).

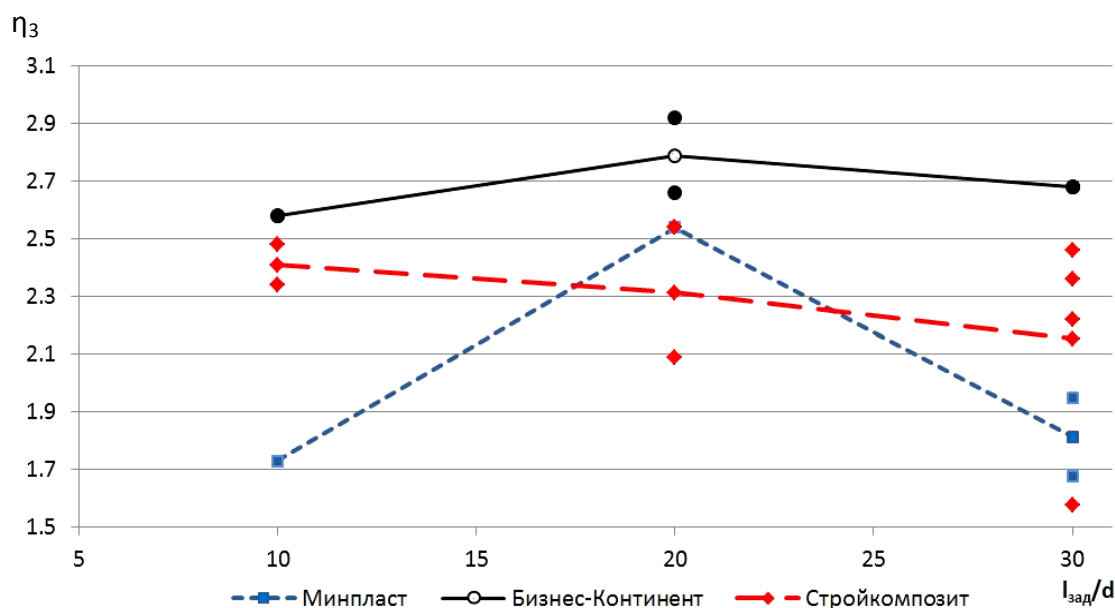


Рисунок 5. – Опытные значения коэффициента  $\eta_3$  для образцов со стеклопластиковой арматурой, соответствующие перемещениям незагруженного конца арматуры на 0,2 мм

Средние значения коэффициента  $\eta_3$ , определенные по опытным данным, соответствующим перемещениям незагруженного конца арматуры на 0,2 мм, составили: 2,23 – для арматуры производства ООО «Стройкомпозит»; 2,71 – для арматуры производства ООО «Бизнес-Континент»; 1,98 – для арматуры производства ЧП «Минпласт».

Рекомендуемые значения коэффициента  $\eta_3$  для определения расчетного значения длины анкеровки следует принимать с учетом статистического анализа с доверительной вероятностью 0,95:

- $\eta_3 = 1,99$  – для арматуры производства ООО «Стройкомпозит»;
- $\eta_3 = 2,56$  – для арматуры производства ООО «Бизнес-Континент»;
- $\eta_3 = 1,59$  – для арматуры производства ЧП «Минпласт».



**Заключение.** В результате экспериментальных исследований установлены требуемые значения коэффициента  $\eta_3$ , используемого в формуле для определения среднего значения предельного напряжения сцепления по контакту арматуры с бетоном, позволяющего оценить расчетную длину анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры, производимой в Республике Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов, Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции / Н.П. Фролов. – М. : Стройиздат, 1980. – 104 с.
2. Лешкевич, О.Н. Перспективы применения композитной арматуры / О.Н. Лешкевич // Проблемы современного бетона и железобетона : материалы Третьего междунар. симп. – Минск, 2011. – С. 9–12.
3. Хотько, А.А. Опыт и проблемы эффективного применения стеклопластиковой арматуры при армировании стеклопластбетонных конструкций / А.А. Хотько // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства : сб. науч.-техн. ст. – Минск, 2012. – С. 140–147.
4. Николаев, Е. Применение композитных материалов в строительстве в мире. Потенциал роста в России [Электронный ресурс] / Е. Николаев // ООО «Гален». – 2011.
5. Степанова, В.Ф. Опыт применения неметаллической арматуры в конструкциях мостов на автомобильных дорогах [Электронный ресурс] / В.Ф. Степанова // Ассоциация «Неметаллическая композитная арматура». – 2013.
6. Мулин, Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций / Н.М. Мулин. – М. : Стройиздат, 1974. – 232 с.
7. Терин, В.Д. Сцепление с бетоном ненапрягаемой арматуры различных видов профилей / В.Д. Терин, А.А. Хотько // Совершенствование железобетонных конструкций оценка их состояния и усиление : сб. науч. тр. – Минск, 2001. – С. 188–195.
8. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02 / М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2003. – 139 с.

Поступила 30.05.2016

#### EXPERIMENTAL RESEARCH DEFORMABILITY BOND WITH CONCRETE FIBERGLASS PLASTIC ARMATURE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**SADIN EBRAHIM YAGHOUB, A.A. KHATSKO**

*This article analyzes the advantages and disadvantages of composite reinforcement for reinforcing concrete structures. Reflects the results of our experimental studies clutch deformability with concrete fiberglass plastic armature, Belarus producers. The analysis of the influence of the diameter and length of contact with the concrete fiberglass rebar of various manufacturers on the clutch deformability with concrete. The experiment revealed that the valves produced by "Business-Continent" and LLC "Stroykompozit" is more deformable coupling with concrete, rebar production than PE "Minplast". Deformation reinforcement also decreased with increasing incorporation of reinforcement in the concrete. Determined moments of the beginning shift rebar concrete regarding two different methods. Ideas for an accounting estimate anchoring in concrete fiberglass plastic armature production.*

**Keywords:** fiberglass rebar, kompozitobetonnye constructions, bond, anchoring, deformations.